

JP5234850

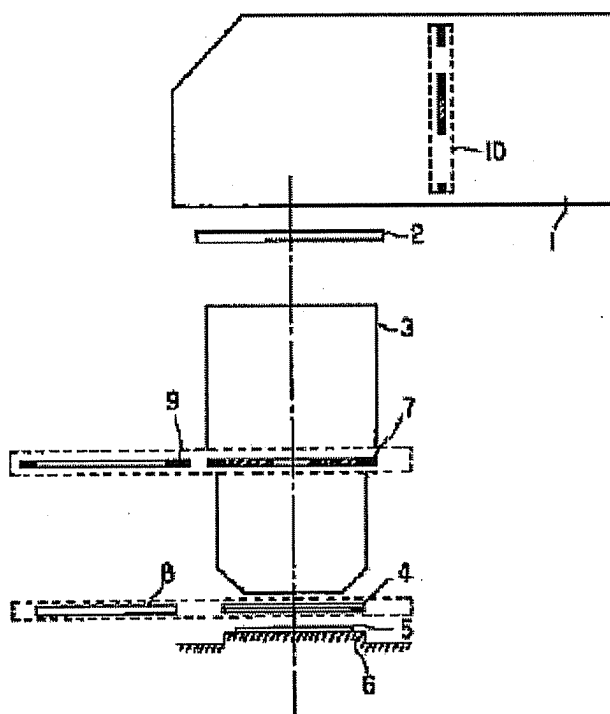
Publication number: JP5234850
Publication date: 1993-09-10
Inventor: SUZUKI AKIYOSHI; SHINONAGA HIROHIKO
Applicant: CANON KK
Classification:
- international: **G03F7/20; G03F7/20;** (IPC1-7): H01L21/027; G03F7/20
- european: G03F7/20T14; G03F7/20T16
Application number: JP19920069446 19920218
Priority number(s): JP19920069446 19920218

Report a data error here

Abstract of JP5234850

PURPOSE: To obtain a projection aligner wherein it constitutes a multifocal system, its depth of focus is increased and it can obtain a high-resolution projection pattern and to obtain the manufacturing method, of a semiconductor device, which uses it.

CONSTITUTION: A circuit pattern on the face of a first object 2 is irradiated with a light flux from an irradiation system 1; the circuit pattern on the face of the first object is projected and exposed on the face of a second object 5 by using a projection optical system 3. At this time, two crystal optical elements 4 whose optical axes are crossed at right angles to each other are arranged in a light path between the first object and the second object; a diaphragm 7 provided with a cross-shaped opening is arranged near the pupil of the projection optical system in such a way that the direction of the opening is directed to the direction of the optical axis of the crystal optical elements.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-234850

(43) 公開日 平成5年(1993)9月10日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7818-2H		
		7352-4M	H 0 1 L 21/30	3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数18(全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平4-69446

(22) 出願日 平成4年(1992)2月18日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 鈴木 章義

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ヤノン株式会社小杉事業所内

(72) 発明者 篠永 浩彦

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ヤノン株式会社小杉事業所内

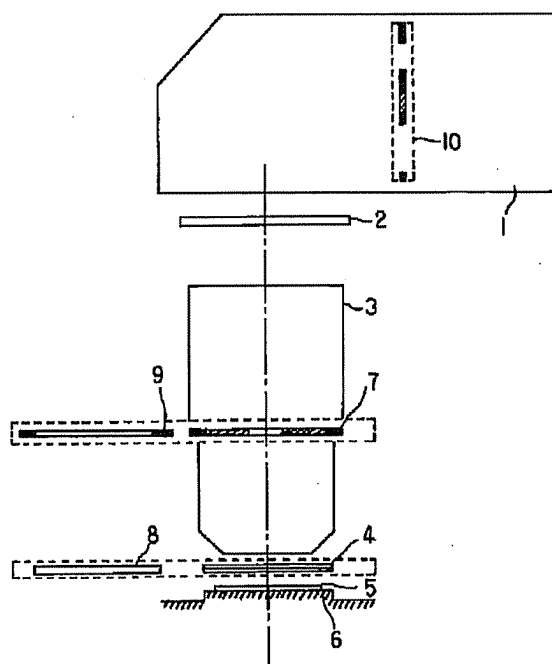
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 多重焦点系を構成し、焦点深度を増加させて高解像度の投影パターン像が得られる投影露光装置及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法を得ること。

【構成】 照明系1からの光束で第1物体面2上の回路パターンを照明し、該第1物体面上の回路パターンを投影光学系3で第2物体面5上に投影露光する際、該第1物体と第2物体との間の光路中に光学軸を互いに直交させた2つの結晶光学素子4を配置すると共に該投影光学系の瞳面近傍に十字状の開口を有する絞リ7をその開口方向が該結晶光学素子の光学軸方向に向くように配置した。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明系からの光束で第1物体面上の回路パターンを照明し、該第1物体面上の回路パターンを投影光学系で第2物体面上に投影露光する際、該第1物体と第2物体との間の光路中に光学軸を互いに直交させた2つの結晶光学素子を配置すると共に、該投影光学系の瞳面近傍に十字状の開口を有する絞りをその開口方向が該結晶光学素子の光学軸方向に向くように配置したことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記結晶光学素子の光学軸の方向及び前記絞りの十字状の開口方向が前記第1物体面上の回路パターンの主たる方向と一致していることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項3】 前記投影光学系は前記第2物体側がテレセントリック系より成り、前記2つの結晶光学素子は該テレセントリック系中に設けていることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項4】 照明系からの光束で照明されたレチクル面上の回路パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光し、現像処理工程を経て半導体デバイスを製造する際、該レチクルとウエハとの間の光路中には光学軸を互いに直交させた2つの結晶光学素子を配置しており、かつ該投影光学系の瞳面近傍に十字状の開口を有する絞りをその開口方向が該結晶光学素子の光学軸方向に向くように配置していることを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項5】 前記結晶光学素子の光学軸の方向及び前記絞りの十字状の開口方向が前記レチクル面上の回路パターンの主たる方向と一致していることを特徴とする請求項4の半導体デバイスの製造方法。

【請求項6】 前記投影光学系は前記ウエハ側がテレセントリック系より成り、前記2つの結晶光学素子は該テレセントリック系中に設けていることを特徴とする請求項4の半導体デバイスの製造方法。

【請求項7】 照明系からの光束で第1物体面上の回路パターンを照明し、該第1物体面上の回路パターンを投影光学系で第2物体面上に投影露光する際、該第1物体と第2物体との間の光路中に結晶光学素子をその光学軸を該投影光学系の光軸方向と略一致させて配置し、該投影光学系の光軸方向に2重焦点を形成するようにしたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項8】 照明系からの光束で照明したレチクル面上の回路パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光し、現像処理工程を経て半導体デバイスを製造する際、該レチクルと該ウエハとの間の光路中に結晶光学素子をその光学軸を該投影光学系の光軸方向と略一致させて配置し、該投影光学系の光軸方向に2重焦点を形成するようにしたことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項9】 投影光学系により回路パターンをウエハ上に投影することにより該回路パターンを該ウエハ上に

プリントし、該回路パターンがプリントされたウエハを処理することにより半導体デバイスを製造する方法において、前記回路パターンを結像する各結像光束の主光線が前記投影光学系の光軸と略平行になる場所に前記回路パターンを前記投影光学系の光軸方向の複数カ所に結像させる複屈折性部材を配したことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項10】 前記回路パターンがホール等の孤立パターンより成ることを特徴とする請求項9の半導体デバイスの製造方法。

【請求項11】 前記複屈折部材が単一の結晶板を備え、該結晶板の光学軸の方向を前記光軸の方向に一致させることを特徴とする請求項9の半導体デバイスの製造方法。

【請求項12】 前記複屈折部材が第1、第2の結晶板を備え、該第1、第2の結晶板の光学軸の方向が互いに直交し、かつ前記光軸に直交する平面に存するよう設定することを特徴とする請求項9の半導体デバイスの製造方法。

【請求項13】 前記光軸を中心とし、前記各光学軸の方向をx、y軸の方向としたxy座標を設定したときの各象限に相当する部分に入射又は通過する光を遮光する為のフィルターを配したことを特徴とする請求項12の半導体デバイスの製造方法。

【請求項14】 マスクのパターンをウエハ上に投影する投影光学系と前記パターンを前記投影光学系の光軸方向の複数カ所に結像させるべく前記パターンを結像する各結像光束の主光線が前記投影光学系の光軸と略平行になる場所に配した複屈折性部材とを有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項15】 前記複屈折部材が前記場所から退避可能に設けられることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項16】 前記複屈折部材が単一の結晶板を備え、該結晶板の光学軸の方向を前記光軸の方向に一致させることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項17】 前記複屈折部材が第1、第2の結晶板を備え、該第1、第2の結晶板の光学軸の方向が互いに直交し、かつ前記光軸に直交する平面に存するよう設定することを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項18】 前記光軸を中心とし、前記各光学軸の方向をx、y軸の方向としたxy座標を設定したときの各象限に相当する部分に入射又は通過する光を遮光する為のフィルターを配したことを特徴とする請求項17の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は投影露光装置及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法に関し、具体的には半導体素子（半導体デバイス）の製造装置である所謂ステ

ッパーにおいてレチクル面上の回路パターンを投影光学系の焦点深度を拡大させてウエハ面上に高い光学性能を有して投影することができるようにしたものである。

【0002】

【従来の技術】最近の半導体素子の製造技術の進展は目覚ましく、又それに伴う微細加工技術の進展も著しい。特に光加工技術は1MDRAMの半導体素子の製造を境にサブミクロンの解像力を有する微細加工技術まで達している。解像力を向上させる手段としてこれまで多くの場合、露光波長を固定して、光学系のNA（開口数）を大きくしていく方法を用いていた。しかし最近では露光波長をg線からi線に変えて、超高圧水銀灯を用いた露光法により解像力を向上させる試みも種々行われている。

【0003】露光波長としてg線やi線を用いる方法の発展と共にレジストプロセスも同様に発展してきた。この光学系とプロセスの両者が相まって、光リソグラフィが急激に進歩してきた。

【0004】一般にステッパーの焦点深度は投影光学系のNAの2乗に反比例することが知られている。この為サブミクロンの解像力を得ようとする、それと共に焦点深度が浅くなっていくという問題点が生じてくる。

【0005】これに対してエキシマレーザに代表される更に短い波長の光を用いることにより解像力の向上を図る方法が種々と提案されている。短波長の光を用いる効果は一般に焦点深度が波長に反比例する効果を持っていることが知られており、波長を短くした分だけ焦点深度は深くなる。

【0006】短波長化の光を用いる他に解像力を向上させる方法として位相シフトマスクを用いる方法（位相シフト法）が種々と提案されている。この方法は従来のマスクの一部に、他の部分とは通過光に対して180度の位相差を与える薄膜を形成し、解像力を向上させようとするものであり、IBM社（米国）のLevensonらにより提案されている。解像力RPは波長を λ 、パラメータを k_1 、開口数をNAとすると一般に式

$$RP = k_1 \lambda / NA$$

で示される。通常0.7～0.8が実用域とされるパラメータ k_1 は、位相シフト法によれば0.35ぐらい迄大幅に改善できることが知られている。

【0007】位相シフト法には種々のものが知られており、それらは例えば日経マイクロデバイス1990年7月号108ページ以降の福田等の論文に詳しく記載されている。

【0008】前述した位相シフトに代表される結像法は繰り返しのある周期性パターンにしか適用できないという問題がある。従って最も問題となるコンタクトホールのような孤立した所謂孤立パターンの結像に対する効果は期待できない。孤立パターンに対する結像法としては、又別の結像法が要求される。孤立パターンの焦点深

度を伸ばす方法としては所謂FLEXと呼ばれる手法が知られている。この方法は投影光学系の光軸方向に多重像を作って露光して重ねあわせ、トータルとして孤立パターンの焦点深度を伸ばそうというものである。

【0009】このように光露光法はパターンの特殊性まで考慮した別個の結像法を採用する必要に迫られている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従来のFLEX方法ではパターンを投影結像する結像系（投影光学系）の光軸方向に沿って、被露光対象であるウエハを移動させ、多重露光することにより解像力を維持しつつ結像系の焦点深度を伸ばしている。しかしながらこの方法は多重露光を行うために部材の移動が行われたり、シャッターを多数回切らねばならないといった制約があり、更に露光に時間がかかるという問題点があった。

【0011】又、別の方法として多重像を複数の光学系で形成し合成する方法とか、投影露光光学系の瞳面に位相型のフィルターを入れ、多重焦点系を構成するという方法もある。しかしながら複数の光学系の合成方法はこの種の超精密光学系では困難であり、又位相型フィルターを用いる方法はその作成が困難であると同時に、高次回折光が出てきて結像に悪影響を与えるという問題点がある。

【0012】本発明は多重焦点光学系を露光時に被露光物体を動かすことなく、しかも一回の露光で行うことができるように構成し、しかも通常の結像光学系の結像性能を何んら損なうことなく構成することにより焦点深度が深く、かつ高い光学性能を有した投影パターン像が容易に得られる投影露光装置及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を達成するため多重焦点光学系を構成する手段として投影光学系内に結晶光学素子を入れ、投影光学系のテレセントリック性と結晶光学素子の複屈折性を利用することを特徴としている。結晶光学素子を入れると複屈折のため結像作用が複雑になる場合には結像作用に悪影響を与える成分をカットするため、投影光学系の瞳面に振幅型のフィルターを挿入することを特徴としている。振幅型のフィルターは単に光を遮光するだけで良いので位相型と異なって作成が容易であり、従来の投影光学系に容易に適用することができる。また孤立パターン以外のパターンを結像する際にも本発明の構成によれば振幅型のフィルターと結晶光学素子は簡単に入れ換え可能なので、パターンの特性に合わせた機動性のある結像系を構成できることも本発明の特徴である。

【0014】本発明の投影露光装置の構成は

（イ）照明系からの光束で第1物体面上の回路パターンを照明し、該第1物体面上の回路パターンを投影光学系

で第2物体面上に投影露光する際、該第1物体と第2物体との間の光路中に光学軸を互いに直交させた2つの結晶光学素子を配置すると共に、該投影光学系の瞳面近傍に十字状の開口を有する絞りをその開口方向が該結晶光学素子の光学軸方向に向くように配置したことを特徴としている。

【0015】特に前記結晶光学素子の光学軸の方向及び前記絞りの十字状の開口方向が前記第1物体面上の回路パターンの主たる方向と一致していることや、前記投影光学系は前記第2物体側がテレセントリック系より成り、前記2つの結晶光学素子は該テレセントリック系中に設けていること等を特徴としている。

【0016】(ロ)照明系からの光束で第1物体面上の回路パターンを照明し、該第1物体面上の回路パターンを投影光学系で第2物体面上に投影露光する際、該第1物体と第2物体との間の光路中に結晶光学素子をその光学軸を該投影光学系の光軸方向と略一致させて配置し、該投影光学系の光軸方向に2重焦点を形成するようにしたことを特徴としている。

【0017】(ハ)マスクのパターンをウエハ上に投影する投影光学系と前記パターンを前記投影光学系の光軸方向の複数力所に結像させるべく前記パターンを結像する各結像光束の主光線が前記投影光学系の光軸と略平行になる場所に配した複屈折性部材とを有することを特徴としている。

【0018】特に前記複屈折部材が前記場所から退避可能に設けられることや、前記複屈折部材が単一の結晶板を備え、該結晶板の光学軸の方向を前記光軸の方向に一致させることや、前記複屈折部材が第1、第2の結晶板を備え、該第1、第2の結晶板の光学軸の方向が互いに直交しかつ前記光軸に直交する平面に存するよう設定することや、前記光軸を中心とし前記各光学軸の方向をx、y軸の方向としたxy座標を設定したときの各象限に相当する部分に入射又は通過する光を遮光する為のフィルターを配したこと等を特徴としている。

【0019】又、本発明の半導体デバイスの製造方法としては

(二)照明系からの光束で照明されたレチクル面上の回路パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光し、現像処理工程を経て半導体デバイスを製造する際、該レチクルとウエハとの間の光路中には光学軸を互いに直交させた2つの結晶光学素子を配置しており、かつ該投影光学系の瞳面近傍に十字状の開口を有する絞りをその開口方向が該結晶光学素子の光学軸方向に向くように配置していることを特徴としている。

【0020】特に前記結晶光学素子の光学軸の方向及び前記絞りの十字状の開口方向が前記レチクル面上の回路パターンの主たる方向と一致していることや、前記投影光学系は前記ウエハ側がテレセントリック系より成り、前記2つの結晶光学素子は該テレセントリック系中に設

けていること等を特徴としている。

【0021】(ホ)照明系からの光束で照明したレチクル面上の回路パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光し、現像処理工程を経て半導体デバイスを製造する際、該レチクルと該ウエハとの間の光路中に結晶光学素子をその光学軸を該投影光学系の光軸方向と略一致させて配置し、該投影光学系の光軸方向に2重焦点を形成するようにしたことを特徴としている。

【0022】(ヘ)投影光学系により回路パターンをウエハ上に投影することにより該回路パターンを該ウエハ上にプリントし、該回路パターンがプリントされたウエハを処理することにより半導体デバイスを製造する方法において、前記回路パターンを結像する各結像光束の主光線が前記投影光学系の光軸と略平行になる場所に前記回路パターンを前記投影光学系の光軸方向の複数力所に結像させる複屈折性部材を配したことを特徴としている。

【0023】特に前記回路パターンがホール等の孤立パターンより成ることや、前記複屈折部材が単一の結晶板を備え、該結晶板の光学軸の方向を前記光軸の方向に一致させることや、前記複屈折部材が第1、第2の結晶板を備え、該第1、第2の結晶板の光学軸の方向が互いに直交し、かつ前記光軸に直交する平面に存するよう設定することや、前記光軸を中心とし、前記各光学軸の方向をx、y軸の方向としたxy座標を設定したときの各象限に相当する部分に入射又は通過する光を遮光する為のフィルターを配したこと等を特徴としている。

【0024】

【実施例】本発明は投影光学系内に結晶光学素子を設け、投影光学系のテレセントリック性と結晶光学素子の複屈折性を利用して多重焦点光学系(2重焦点)を構成していることを主たる特徴としている。

【0025】この為、本発明の構成を説明する前にまず結晶光学素子中での光の挙動(伝播)について説明する。

【0026】図2は本発明で利用する結晶光学素子4の要部斜視図である。図2に示されているように座標軸xyzをとり、結晶光学素子4の表面にある原点22に角度 θ で入射する光L23を考える。入射光線のxy平面への射影がなす角度は α である。本発明で利用する結晶光学素子4は2枚の結晶光学素子(以下単に「結晶」ともいう。)4a、4bを貼り合わせて構成しており、各々の厚さはdである。

【0027】1枚目の結晶4aの光学軸の方向はy軸と一致しており、2枚目の結晶4bの光学軸の方向はx軸と一致し、2枚の結晶4a、4bの光学軸は互いに直交した関係にある。また結晶の常光線の屈折率を n_o 、異常光線の屈折率を n_e とする。

【0028】入射した光線L23は結晶の中で常光線と異常光線の2つに別れる。1枚目の結晶での常光線は2

10

20

30

40

50

枚目の結晶で異常光線となり、一方1枚目の結晶での異常光線は2枚目の結晶で常光線となる。この2つの光が多重焦点像を形成する2つの光を形成する。分離した2つの光は偏光的に直交しており、入射光が無偏光であれば等強度の2つの光に分離される。

【0029】従来技術で位相型のフィルターを用いた場合には高次の回折光が生じるが、本実施例の場合には2種類の光しか生じない。しかも一般に半導体素子製造用の投影露光装置での露光光は無偏光の光が用いられるので、両者の強度は等しく結像特性のコントロールが容易である。

【0030】入射する光線が $x=0$, $y=0$ を通過したとして射出する側での座標を計算する。1枚目の結晶に異常光線で入る光が2枚目の結晶を出るときの点をP(x_p , y_p)、1枚目の結晶に常光線で入る光が2枚目の結晶を出るときの点をQ(x_q , y_q)とする。また実際には存在しない光線であるが、2枚の結晶をともに常光線で通る仮想的な光線が2枚目の結晶を出るときの点をS(x_s , y_s)とする。これらは上記のパラメータを用いて次のように表すことができる。

【0031】

$$x_p - x_s = -(\Delta n / n_0) d \cos \alpha \tan \theta_0$$

$$y_p - y_s = (\Delta n / n_0) d \sin \alpha \tan \theta_0$$

$$x_q - x_s = (\Delta n / n_0) d \cos \alpha \tan \theta_0$$

$$y_q - y_s = -(\Delta n / n_0) d \sin \alpha \tan \theta_0$$

$$x_s = -2d \cos \alpha \tan \theta_0$$

$$y_s = -2d \sin \alpha \tan \theta_0$$

ただしここで θ_0 は常光線の屈折の法則より次式より導かれる値である。

【0032】

$$\sin \theta = n_0 \sin \theta_0$$

$$\Delta n = n_e - n_0$$

図3は点P, Q, Sの関係を示した説明図である。同図は入射角 θ を固定したときのアジムス α に対して点P, Qが点Sに対し、どのように動くかが示されている。点Sは常光線の経路をたどるものなので入射角に対応した円上を動く。これに対し点Pと点Qは恰も惑星運動をするかのような関係を保って点Sの回りを回転することがわかる。

【0033】図2の結晶光学素子21は外面的には平行平板でパワーを持っていないため、通過した光線は入射した角度を保って結晶板を出ていく。本発明はこのような結晶板の性質の解析に基づいてなされている。

【0034】図10は本発明で利用する結晶光学素子101の他の実施例の光学的作用の説明図である。同図では結晶光学素子101を1枚の結晶光学素子より構成している。

【0035】図13は結晶光学素子101の要部断面図である。図13において61は石英基板、101aは水晶である。図10に示されているように座標軸 $x y z$ を

取り、結晶光学素子101の表面にある原点102に角度 θ で入射する光L103を考える。本発明で利用する結晶光学素子（以下「結晶」ともいう。）101は図2で示した結晶光学素子とは異なり、一軸結晶の光学軸の方向は z 軸と一致した関係にある。また結晶は厚み d の平行平板でできており、常光線の屈折率を n_0 、異常光線の屈折率を n_e とする。このとき常光線の光線速度面は

$$n_0^2 (x^2 + y^2 + z^2) = 1$$

なる球面で表され、異常光線の光線速度面は

$$n_e^2 (x^2 + y^2) + n_0^2 z^2 = 1$$

なる回転楕円体面で表される。両者とも後述する投影光学系の光軸に対して回転対象の関係にあるので、ここでは y, z を含む断面で代表して結晶内での光の伝播について図示した。結晶101に入射した光線L103は結晶の中で常光線と異常光線の2つに別れる。この2つの光が2重焦点像を形成する。

【0036】図11は光線が結晶を通過して結像する様子を示したものである。図中実線で示されているのが常光線で結晶を通過する光線の結像を示すもので、破線で示されているのが異常光線で結晶を通過する光線の結像を示すものである。図10の結晶は外面的には平行平板でパワーを持っていないため、通過した光線は入射した角度を保って結晶を出ていく。

【0037】従って2つに別れた光は図11に示したように互いに光軸上距離 Δf だけ異なるところに結像する。即ち2重焦点が達成される。図12は光線が結晶101に入射する角度 θ に対する結像位置のずれ量を示した説明図である。同図に示すように常光線と異常光線の結像位置が異なり、この2つの光が2重焦点像を形成していることがわかる。このときの光軸方向の焦点位置のずれ Δf の近軸量は

$$\Delta f = (1/n_0 - n_0/n_e^2) \cdot d$$

で表され、結晶の材質を水晶、波長を $\lambda = 404.6 \text{ nm}$ とし、 $n_0 = 1.55396$ 、 $n_e = 1.56340$ を用いて Δf を計算すると

$$\Delta f = 0.0077 \cdot d$$

が得られる。

【0038】ここでこの焦点ずれの量を例えば $2 \mu\text{m}$ に設定する場合には $d = 0.26 \text{ mm}$ に設定すれば良いことがわかる。結晶光学素子101を通過し、分離した2つの光は偏光的に直交しており、入射光が無偏光であれば等強度の2つの光に分離される。

【0039】従来技術で位相型のフィルターを用いた場合には高次の回折光が生じるが、本実施例の場合には2種類の光しか生じない。しかも一般に半導体素子製造用の投影露光装置での露光光は無偏光の光が用いられるので、両者の強度は等しく結像特性のコントロールが容易である。本発明はこのような結晶の性質の解析に基づいてなされている。

【0040】次に本発明の投影露光装置の構成上の特徴について説明する。図1は本発明の投影露光装置の実施例1の要部概略図である。

【0041】図中1は照明系であり、光源として例えば超高圧水銀灯やエキシマレーザ等を有し、露光光でレチクル2を照明している。レチクル2の面上には回路パターンが設けられている。

【0042】3は投影光学系（投影レンズ）であり、レチクル2面上の回路パターンをウエハ保持機構6に載置したウエハ5面上に投影している。投影光学系3のウエハ5側はテレセントリック系となっている。

【0043】4は結晶光学素子であり、投影光学系3とウエハ5との間のテレセントリック系となっている光路中に挿脱可能に設けている。結晶光学素子4は図2に示した構成より成っている。

【0044】一般に投影光学系は露光時にデフォーカスした状態で焼かれても像の位置が変わらないよう、ウエハ側でテレセントリック系となるように構成される。本実施例では後述するように結晶光学素子4を投影光学系3とウエハ5との間に配置し、テレセントリック性を利用して

【0045】8は平行平板であり、結晶光学素子4を用いないときに光路長を同一とする為に結晶光学素子4の代わりに光路長に挿脱可能となるように設けている。7は絞りであり、図5に示すような幅DWの十字状の開口径を有しており、投影光学系3の瞳面近傍に挿脱可能に設けている。絞り7は結晶光学素子4を使用するとき用いている。絞り7の十字状の開口方向と結晶光学素子4を構成する2つの結晶光学素子4a、4bの光学軸方向が略一致するようにして用いている。

【0046】9は絞りであり、通常の円形開口より成り、投影光学系3の瞳面近傍に絞り7と交換可能となるように設けている。絞り9は結晶光学素子4を用いない通常の投影露光のときに平行平板8と共に用いている。10は照明系1中に設けた絞り等の切り換え機構であり、結晶光学素子4を用いたときの照明条件を変更し、最適な照明が出来るようにしている。

【0047】同図に示す投影露光装置は、この他例えばウエハ5の投影光学系3の光軸方向の位置を検出するフォーカス系、及びウエハの駆動系等が通常の構成要素として装置の中に組み込まれている。

【0048】本実施例においてはレチクル2面上の回路パターンを投影光学系3によりウエハ5面上に投影露光する際、結晶光学素子4を用いて2重焦点像を形成して焦点深度を増やして高解像力のパターン像を得ている。

【0049】次にこのときの光学的作用について説明する。図4は結晶光学素子（結晶）4を通過した後のウエハ5側への結像状態を示すものである。図中実線で示されているのが仮想光線である常光線のみで結晶4を通過する光線の結像を示すものである。ここでは説明の簡単

上、常光線は結像点である点Aに理想結像するものとする。実際半導体製造用の投影光学系は高度に収差補正がされており、このような仮定を行っても何んら差し支えない。

【0050】図2と対応させて言えば仮想の光線である常光線の結晶光学素子4での出口点Sが図4の点Sに当たる。実際の光線は第1または第2の結晶を異常光線として通るので、図4(A)のzy断面では図のように点Pが点Sの外にあり、点Qが点Sの内にあるのに対し、図4(B)のxz断面では点Qが点Sの外にあり、点Pが点Sの内にあるという逆転した関係が生じている。

【0051】この様子については既に図3で説明した通りである。点Sから点P、Qとの距離aは

$$a = (\Delta n / n_0) d \tan \theta_0$$

である。

【0052】結晶4を出た後の光線は入射角度と同じ角度で伝播する光となる。従って2つに別れた光は図4に示すように互いに焦点位置の異なったところに結像する、即ち2重焦点が達成される。この距離aという量は点Sから出る光線の焦点位置を基準とすると、丁度横収差の量に対応する。

【0053】非常に粗い近似で

$$\tan \theta_0 \approx \sin \theta / n_0$$

とおくと、

$$a = (\Delta n / n_0^2) d \sin \theta$$

となり、この横収差量はデフォーカス量と対応した収差となっていることが分かる。

【0054】結像系がテレセントリックであるということは結像光束の中心である主光線が投影光学系3を通過後ウエハ5面に対して垂直になっていることを意味している。

【0055】本実施例での結晶光学素子4は投影光学系3とウエハ5の間に配置されている為、主光線は結晶光学素子4に垂直に入射する。垂直入射した光はそのまま垂直に通過するので、2つに別れた光の主光線のずれは生じない。従って結晶光学素子4を入れても2つの光の像点が投影光学系3の光軸に垂直な方向にずれるということはない。2つに別れた光の結像点の位置は投影光学系3の光軸方向のずれを生じるのみである。

【0056】このように図2に示すような結晶光学素子4を挿入することにより、光軸方向に垂直な方向のずれである倍率や、ディストーションに影響させることなしに、2重焦点を達成することができる。

【0057】しかしながらこの2重焦点は単純なものではなく、zy断面とzx断面でのフォーカス状態の逆転関係に見られるように、断面によって焦点位置のずれが異なってくる。

【0058】そこで本発明では断面によって結像位置のずれ量が異なるという問題に対処する為、結像を行う方向に制限を加えることを特徴とする。その役目を果たす

のが図1で示した絞り7である。集積回路パターンは周知のように主として縦横のパターンで構成されている。これを図2に示した座標系で言うと、x及びy軸に相当する。

【0059】本発明ではこのx軸及びy軸の方向をパターンの主たる方向と定義する。結晶光学素子4を構成する結晶の光学軸の方向は集積回路パターンの主たる方向に一致するように配置される。

【0060】図5は絞り7の開孔形状を示している。絞り7は $\pm 45^\circ$ 方向を遮蔽するようになっており、x軸及びy軸上近辺の光束のみを通過する役目を果たす。絞り7の開孔形状は従ってx軸及びy軸に平行な直線群で構成される十字状の形状をしている。投影光学系3の瞳の半径を1に規格化したとき、瞳面に形成される照明系1の有効光源の径をDWとしたとき、絞り7の光束通過部の幅はやはりDW近辺の値であることが望ましい。図5に示されているのは有効光源の径DWが0.3の場合で絞り7の透過部の幅DWも0.3となっている。

【0061】 $\pm 45^\circ$ 方向の結像は実際の結像において像の横ずれを生じる。図3の点Pと点Qの関係を見れば明らかなように、x軸上及びy軸上での2つの光のずれは結像面では焦点位置のずれとなる。しかしながらx軸上とy軸上では点Pと点Qの関係が逆転しており、x軸上でプラスのデフォーカス効果を持つ光は、y軸上ではマイナスのデフォーカス効果を持つ。 $\pm 45^\circ$ 方向の断面の結像は丁度この2つの過渡域にあり、2つの光のフォーカス位置は一致するが、一方で副作用として像の横ずれを生じる。

【0062】即ち $\pm 45^\circ$ 方向の結像は投影光学系3の光軸に対して直交方向にずれた方向の2重像になる。焦点深度を増やす為に本発明で利用しているのは投影光学系3の光軸方向のずれなので、 $\pm 45^\circ$ 方向の結像成分は邪魔な成分である。

【0063】ずれ量は先に点P、Qの座標を求めた式より明らかなように $\sin \theta$ に比例しているの、図5に示した絞り7の開孔形状のように $\pm 45^\circ$ 方向での角度の広がりを制限してやれば、ずれは許容範囲内に納めることができる。

【0064】従って絞り7の透過部の形状は必ずしも直線に限らず、横ずれ量が許容値を越える場合には制限を加えるような、具体的には中心から離れる程、幅が小さくなるような形状のものが好ましいこともある。また別の方法として照明条件での σ を小さくする方法も考えられる。この場合には開口部の幅も σ の条件に合わせて小さくすることが可能である。

【0065】投影光学系の焦点位置のずれ量は結晶光学素子の厚みdによって任意にコントロールすることができる。数種の厚みの結晶光学素子を入れ換え可能としておけばパターンに応じたずれ量を発生させることができる。また2重像は同時に発生する為、2重露光する手間

が発生しない為、スループットの低下を押えることが可能である。

【0066】本発明では投影光学系を構成するレンズ等のパワーを持った素子は固定であるため図1に示したように結晶光学素子4と絞り7とを交換して、通常の投影結像系の構成に戻すことも容易である。

【0067】実際に結晶光学素子として最も使用しやすい水晶を用いた場合には、結晶の厚さは0.1mmオーダーの薄い厚みの板の加工を要求される。このため実際には図6に示すように水晶板4a、4bを石英あるいはBK7といった一定の厚みを持った補強部材61に貼り付けて製作することが必要である。結晶板と補強部材は真空接着で接着される。図6はそのようにして作成した結晶光学素子4を示している。

【0068】このように結晶光学素子を製作した場合、通常の投影光学系に戻すには通常光学系用に補強部材を含めた光路長と同一の光路長を持った平行平板を交換する必要がある。

【0069】本発明のような結晶光学素子を用いる場合には最適の照明条件があり、結晶光学素子の挿入の有無で照明条件を変える必要がある場合がある。このような場合の照明条件の変化法、いわゆる σ の変化法については例えば切り換え機構10により照明系1内の絞りを変えるなど種々の公知の方法を用いることができる。

【0070】図7、図8は各々本発明の投影露光装置の実施例2、3の要部概略図である。図中、図1で示した要素と同一要素には同符番を付している。図7の実施例2では結晶光学素子4をレチクル2側に挿着している。

【0071】本実施例において像点のずれを起こさないようにこの場合の投影光学系3はウエハ5側だけでなく、レチクル2側についてもテレセントリック系となっている。結像の基本関係として縦倍率は横倍率の自乗であり、通常用いられている1/5倍の縮小系で考えると結晶4の厚さは実施例1でウエハ側に挿入した場合の25倍にすることができる。

【0072】先に述べたように結晶として水晶を用いた場合にウエハ側の挿入で0.1mmオーダーの管理がいるとすると、レチクル側での管理量はmmオーダーと大きくなり、加工上の管理が容易化される。

【0073】図8の実施例3では結晶光学素子4を投影光学系3内で主光線が投影光学系3の光軸と平行になる位置に挿入している。投影光学系をウエハ側でテレセントリックに設計する際、投影光学系の内部にこのような箇所が表れる場合がある。

【0074】本発明の結晶光学素子はそのようなところにも挿入可能である。この場合の結晶の厚みは挿入箇所と結像位置との近軸倍率の関係によって決定されるが、一般には実施例1より厚い結晶が要求される。

【0075】図7においても図8でも、本発明で用いる結晶光学素子4と交換可能な平行平板8が用意される

が、結晶4と平行平板8の光学的な厚みは一致している。又絞り7の十字状の開口の方向と結晶4の光学軸の方向がレチクル2上のパターンの主たる方向と一致していることも実施例1と同じである。

【0076】本実施例において実際の露光においては投影光学系3のコンソール上からパターン情報を入れることによって、結晶光学素子の挿入の種類及び有無、絞り7の挿入の種類及び有無が指示され、これらの素子類が自動的にセットアップが行われる。又照明条件についても同様である。

【0077】本発明では投影光学系の特長を何んら損なうことなく光学系の結像特性を変え、コンタクトホールのような孤立パターンに対する光学系の深度を増大することができるため、実施上の効果大きい。

【0078】図9、図14、図15は各々本発明の投影露光装置の実施例4、5、6の要部概略図である。実施例4、5、6では図1の実施例1に比べて結晶光学素子として図13に示す結晶光学素子101を用いて絞り7を省略した点が大きく異なり、その他の構成は実質的に略同じである。

【0079】次に図9の実施例4の構成について図1の実施例1と一部重複するが説明する。図中1は照明系であり、光源として例えば超高圧水銀灯やエキシマレーザ等を有し、露光光でレチクル2を照明している。レチクル2の面上には回路パターンが設けられている。

【0080】3は投影光学系（投影レンズ）であり、レチクル2面上の回路パターンをウエハ保持機構6に載置したウエハ5面上に投影している。投影光学系3のウエハ5側はテレセントリック系となっている。

【0081】101は結晶光学素子であり、投影光学系3とウエハ5との間のテレセントリック系となっている光路中に挿脱可能に設けている。結晶光学素子101は図13に示した構成より成っている。一般に投影光学系は露光時にデフォーカスした状態で焼かれても像の位置が変わらないよう、ウエハ側でテレセントリック系となるように構成される。

【0082】本実施例では実施例1と同様に結晶光学素子101を投影光学系3とウエハ5との間に配置し、テレセントリック性を利用していることを特徴としている。

【0083】8は平行平板であり、結晶光学素子101を用いないときに光路長を同一とする為に結晶光学素子101の代わりに光路長に挿脱可能となるように設けている。10は照明系1中に設けた絞り等の切り換え機構であり、結晶光学素子101を用いたときの照明条件を変更し、最適な照明が出来るようにしている。同図に示す投影露光装置は、実施例1と同様にこの他、例えばウエハ5の投影光学系3の光軸方向の位置を検出するフォーカス系、及びウエハの駆動系等が通常の構成要素として装置の中に組み込まれている。

【0084】本実施例においてはレチクル2面上の回路パターンを投影光学系3によりウエハ5面上に投影露光する際、結晶光学素子101を用いて2重焦点像を形成して焦点深度を増やして高解像力のパターン像を得ている。

【0085】本実施例において結像がテレセントリックであるということは結像光束の中心である主光線が投影光学系3を通過後ウエハ5面に対し、垂直になっていることを意味している。

10 【0086】本実施例での結晶光学素子101は投影光学系3とウエハ5との間に配置されているため、主光線は結晶光学素子101に垂直に入射する。垂直入射した光はそのまま垂直に通過するので、2つに別れた光の主光線のずれは生じない。

【0087】従って、結晶光学素子を入れても2つの光の像点が投影光学系の光軸に垂直な方向にずれるといったことはない。2つに別れた光の結像点の位置は投影光学系の光軸方向のずれを生じるのみである。

20 【0088】このように図13に示すような結晶光学素子101を挿入することにより、光軸方向に垂直な方向のずれである倍率やディストーションに影響させることなしに、2重焦点を達成している。

【0089】本実施例において投影光学系の焦点位置のずれ量は実施例1と同様結晶光学素子の厚みdによって任意にコントロールすることができる。数種の厚みの結晶光学素子を入れ換え可能としておけば、パターンに応じたずれ量を発生させることができる。又2重像は同時に発生するため2重露光する手間が発生しないため、スループットの低下を押えることが可能である。

30 【0090】本実施例では投影光学系を構成するレンズ等のパワーを持った素子は固定であるため、図9に示したように結晶光学素子101を交換して、通常の投影結像系の構成に戻すことも容易である。実際に結晶光学素子として最も使用しやすい水晶を用いた場合には、結晶の厚さが実用的な厚さより薄い場合が発生する。この為実際には図13に示すように水晶板101aを石英あるいはBK7といった一定の厚みを持った補強部材61に貼り付けて製作している。結晶板と補強部材は真空接着で接着される。図5はそのようにして作成した結晶光学素子101を示している。

40 【0091】このように結晶光学素子を製作した場合、通常の投影光学系に戻すには通常光学系用に補強部材を含めた光路長と同一の光路長を持った平行平板を交換する必要がある。

50 【0092】本実施例でも図1の実施例1と同様に結晶光学素子を用いる場合には最適の照明条件があり、結晶光学素子の挿入の有無で照明条件を変える必要がある場合がある。このような場合の照明条件の変化法、いわゆるσの変化法については例えば切り換え機構10により照明系1内の絞りを変える等、種々の公知の方法を用い

ることができる。

【0093】次に図14、図15の実施例5、6について説明する。図14の実施例5では結晶光学素子101をレチクル2側に挿着している。

【0094】本実施例において像点のずれを起こさないようにこの場合の投影光学系3はウエハ5側だけでなく、レチクル2側についてもテレセントリック系となっている。結像の基本関係として縦倍率は横倍率の自乗であり、通常用いられている1/5倍の縮小系で考えると結晶101の厚さは実施例4でウエハ側に挿入した場合の25倍にすることができる。

【0095】先に述べたように結晶として水晶を用いた場合にウエハ側の挿入で0.1mmオーダーの管理がいとすると、レチクル側での管理量はmmオーダーと大きくなり、加工上の管理が容易化される。

【0096】図15の実施例6では結晶光学素子101を投影光学系3内で主光線が投影光学系3の光軸と平行になる位置に挿入している。投影光学系をウエハ側でテレセントリックに設計する際、投影光学系の内部にこのような箇所が表れる場合がある。

【0097】本発明の結晶光学素子はそのようなところにも挿入可能である。この場合の結晶の厚みは挿入箇所と結像位置との近軸倍率の関係によって決定されるが、一般には実施例4より厚い結晶が要求される。

【0098】図14においても図15でも、本発明で用いる結晶光学素子101と交換可能な平行平板8が用意されるが、結晶101と平行平板8の光学的な厚みは一致している。

【0099】本実施例において実際の露光においては投影光学系3のコンソール上からパターン情報を入れることによって、結晶光学素子の挿入の種類及び有無が指示され、これらの素子類が自動的にセットアップが行われる。又照明条件についても同様である。

【0100】特に本発明では投影光学系の特長を何んら損なうことなく光学系の結像特性を変え、コンタクトホールのような孤立パターンに対する光学系の深度を増大することができるため、実施上の効果が大きい。

【0101】

【発明の効果】本発明によれば投影光学系のテレセントリックな箇所に結晶光学素子を挿入すると共に図2で示す結晶光学素子を用いたときには投影光学系の瞳位置に絞りを挿入することによって孤立パターンに対する深い焦点深度の結像を達成している。

【0102】特に本発明では通常のパターンの露光に当たっては、結晶光学素子及び図2で示す結晶光学素子を用いたときは絞りを除去し、照明系等の条件を再設定することで、露光系が本来持っている機能は何んら損なうことがない。又結晶光学素子や絞りはそれ自体が光学的なパワーを持っている素子ではないので切り換えに際しての位置精度も高いものが要求されないという特徴があ

り、実施に当たっての大きなメリットとなる。

【0103】又、本発明は投影光学系を通過する光束を効果的に2分する為、2つの光路のパワー系の部分はすべて共通である。従って製造誤差によって発生するディストーション等の性質は2つの光に対して全く同等であり、投影レンズ一本一本に固有の癖は完全にキャンセルされる。2つの光学系を用いて合成して2重焦点を達成する際にはディストーションのマッチングが大きな問題となるので、本発明の効果は大きい。

【0104】又、本発明では2つの像が同時に発生する為、露光を同時に行うことができる。この為、被露光対象物を投影光学系の光軸方向に動かしたごとにシャッターを切るといった操作を必要としない。従ってスループットの利便性があり、移動に伴う誤差要因が除去できる為、システム全体としての安定性も向上するという効果を持っている。

【0105】更に本発明では結晶光学素子や絞りの交換が容易である為、複数個の結晶光学素子や絞りを用意することにより、投影するパターンの特徴に応じたものを選択することが可能で、パターンの特殊性に応じた結像を行うことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の投影露光装置の実施例1の要部概略図

【図2】 本発明で用いる結晶光学素子の説明図

【図3】 結晶光学素子を出るとききの光の射出点の説明図

【図4】 結晶光学素子を出てからの光の伝播を示す図

【図5】 絞りの形状を示す図

【図6】 結晶光学素子の実際の構成を示す図

【図7】 本発明の投影露光装置の実施例2の要部概略図

【図8】 本発明の投影露光装置の実施例3の要部概略図

【図9】 本発明の投影露光装置の実施例4の要部概略図

【図10】 本発明で用いる結晶光学素子の光の伝播を示す図

【図11】 結晶光学素子を通過した光が結像する様子を示す図

【図12】 結晶光学素子に光が入射する角度と結像点とのずれの関係を示すグラフ

【図13】 結晶光学素子の実際の構成を示す図

【図14】 本発明の投影露光装置の実施例5の要部概略図

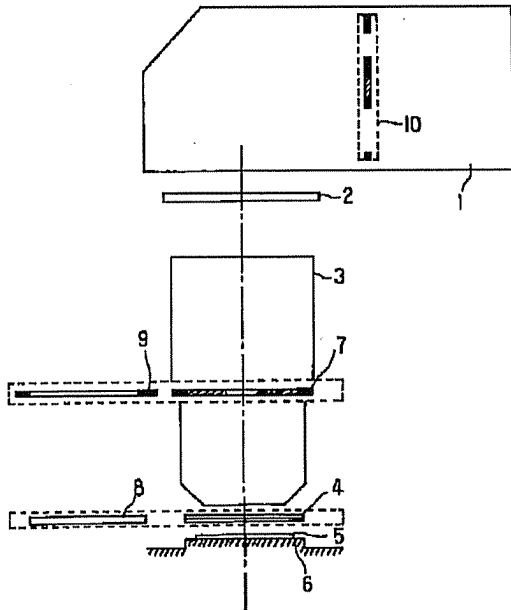
【図15】 本発明の投影露光装置の実施例6の要部概略図

【符号の説明】

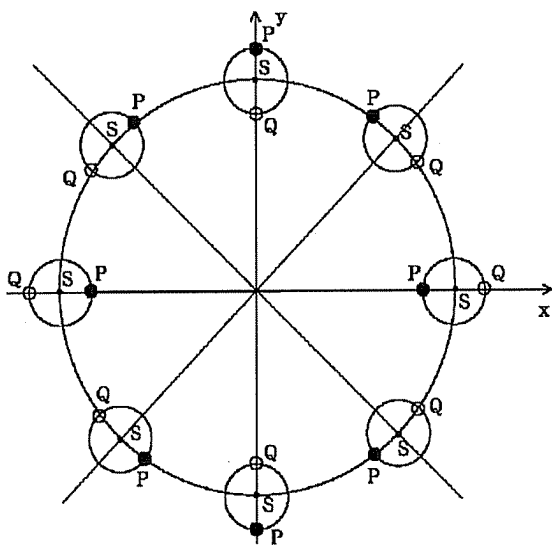
1 照明系

- 2 レチクル
- 3 投影光学系
- 4, 101 結晶光学素子
- 5 ウエハ
- 6 ウエハ保持系

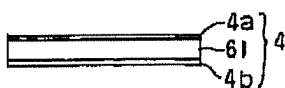
【図1】



【図3】

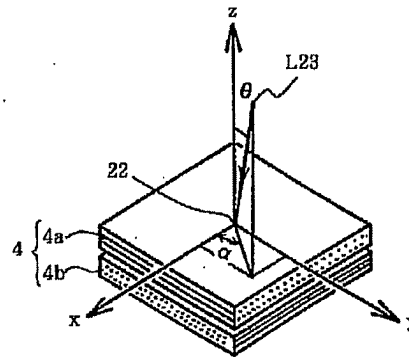


【図6】

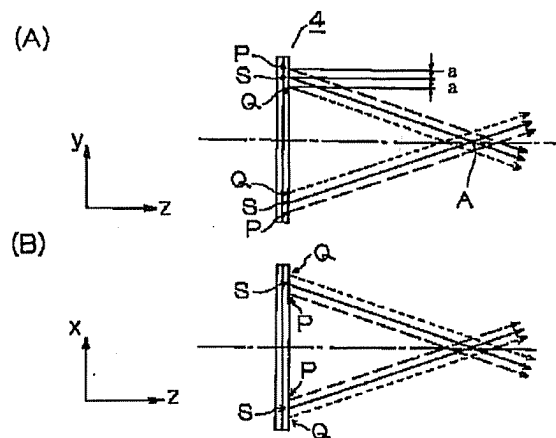


- 7 十字絞り
- 8 平行平板
- 9 円形絞り
- 10 照明条件切り換え機構

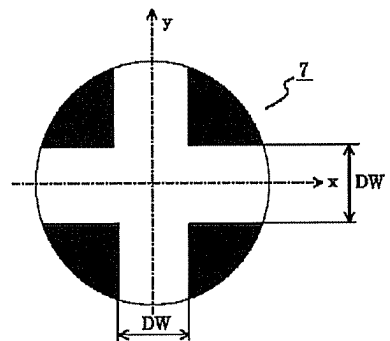
【図2】



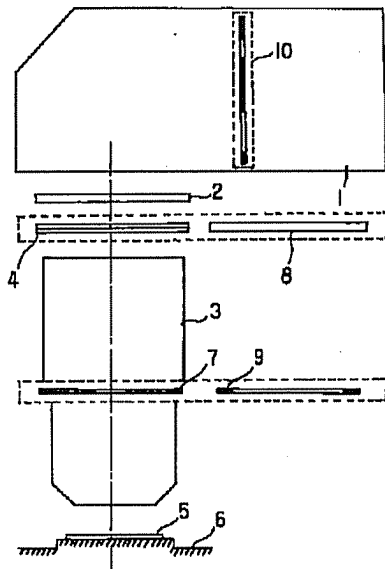
【図4】



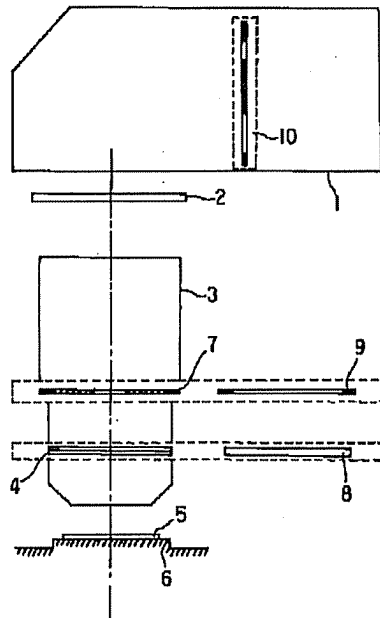
【図5】



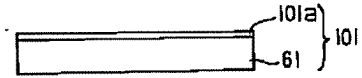
【図7】



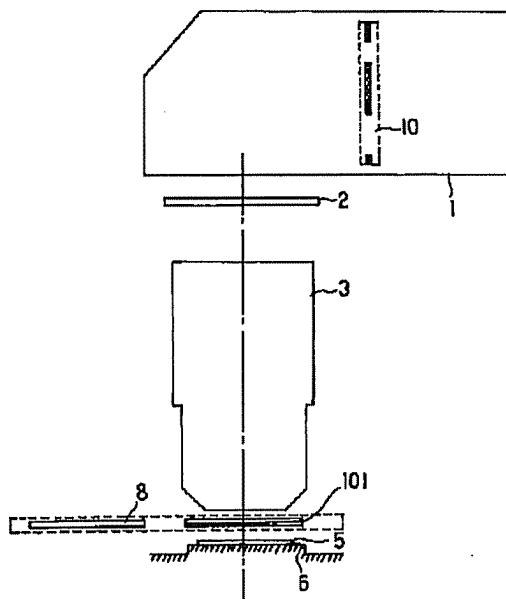
【図8】



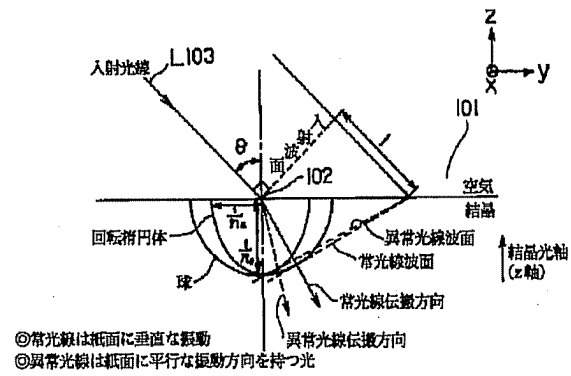
【図13】



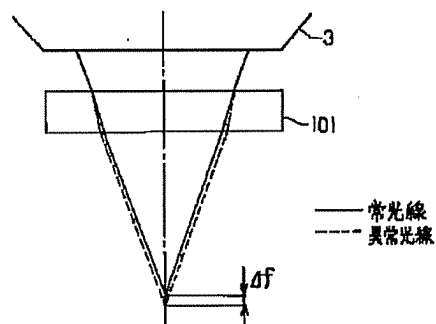
【図9】



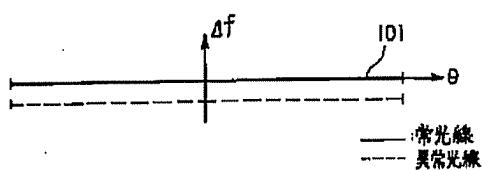
【図10】



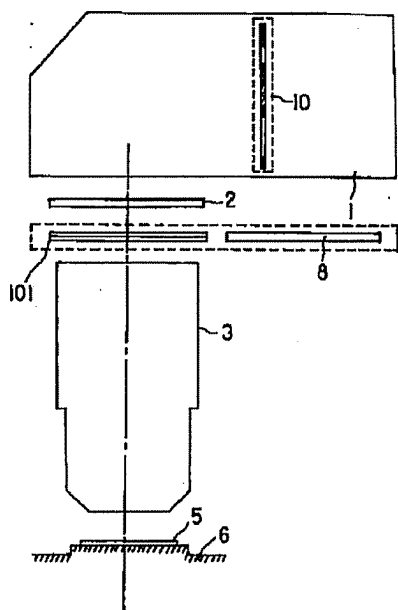
【図11】



【図12】



【図14】



【図15】

